**Применение метода фазового поля для моделирования структуры пены**

***Семененко Н.А.1, Еленина Т.Г.2, Савенков Е.Б.3***

*1Студент; 2н.с, к.ф.-м.н.; 3в.н.с, д.ф.-м.н.*

 *1,2Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*3Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша, Москва, Россия*

*E–mail:* *tel-fyr@mail.ru*

Потребность в моделировании многофазных систем возникает во многих областях науки и техники [1], [2], [5]. Однако из-за необходимости описания большого количества объектов (фаз, границ раздела между ними), а также учёта процессов, связанных со слиянием и разделением фаз, подобные вычисления обладают достаточно высокой сложностью. Метод фазового поля позволяет значительно упростить вычисления в ряде подобных задач, поскольку описывает всю систему одной функцией параметра порядка. В этом методе эволюция системы моделируется либо системой уравнений типа Аллена-Кана, либо системой уравнений Кана-Хилларда в зависимости от того, сохраняется ли в условиях конкретной задачи параметр порядка [3].

В данной работе метод фазового поля применён для исследования структуры пены в установившемся состоянии при различных параметрах моделирования её эволюции из заданного начального состояния. Пена представляет собой ячеистую структуру, в которой заполненные газом ячейки разделены тонкими плёнками – стенками пузырьков. В рамках представленной модели каждой ячейке пены ставится в соответствие отдельная фаза, а область раздела фаз описывается моделью диффузной границы. Из принципа минимума свободной энергии и вида эволюционных уравнений следует, что вид энергетической функции определяет процесс эволюции системы. Для воспроизведения моделью свойств пены в качестве функции плотности свободной энергии используется модифицированный потенциал двойной ямы, предложенный в работе [4]. Он обеспечивает разделение и несмешение фаз, а также запрещает слияние ячеек пены и обеспечивает формирование стенок между ними. Таким образом поведение системы в ходе эволюции будет соответствовать поведению пены.

В результате работы были построены разностные схемы для численного моделирования эволюции пены в одномерном и двумерном случаях, а также проведён анализ влияния параметров моделирования на структуру пены в установившемся состоянии. Полученные результаты открывают возможность моделирования структур пен, обладающих заданными свойствами, путём подбора параметров моделирования.

**Литература**

1. J. Lowengrub, A. Rätz, A. Voigt. Phase-field modeling of the dynamics of multicomponent vesicles: Spinodal decomposition, coarsening, budding, and fission // Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics vol. 79 (2009), pp. 031926.
2. R. Kobayashi. Modeling and numerical simulations of dendritic crystal growth // Physica D: Nonlinear Phenomena vol. 63 (1993), pp. 410—423.
3. R. Qin, H. Bhadeshia. Phase field method// Materials Science and Technology vol. 26 (2010), pp. 803—811.
4. T. Lavoratti, S. Heitkam, U. Hampel, G. Lecrivain. A computational method to simulate mono- and polydisperse two-dimensional foams flowing in obstructed channel // Rheologica Acta vol. 60 (2021).
5. W. Boettinger и др. Phase-Field Simulation of Solidification 1 // Annu. Rev. Mater. Res vol. 32 (2002), pp. 163—94.